引用格式：杜鹏，赵秉钰，孙粒，等．新时代科研范式变革的内涵及应对．中国科学院院刊，2023，38(7)：991-1000，

Du P, Zhao B Y, Sun L, et al. Connotation and countermeasures of scientific research paradigm transformation in the new era. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2023, 38(7): 991-1000

新时代科研范式变革的内涵及应对

杜 鹏[1]　赵秉钰[1,2]　孙 粒[3]　沙小晶[1]　张理茜[1]　王孜丹[4*]

1 中国科学院科技战略咨询研究院　北京　100190
2 中国科学院大学　公共政策与管理学院　北京　100049
3 国家自然科学基金委员会　计划与政策局　北京　100085
4 军事科学院系统工程研究院　北京　100041

摘要　文章从理论和实践层面对科研范式变革的主要内涵和重要影响进行综合性探讨。在理论层面上，从库恩及其代表作《科学革命的结构》入手，探讨“范式”概念的逻辑本质。在实践层面上，通过问卷调查和访谈等形式，调研、凝练出新时代科研范式变革的3个方面内涵：解决系统性复杂问题成为新时代科研范式变革主要驱动力，仿真模拟和数据科学可能成为推动科研范式变革的有效突破口，科研活动组织创新成为推动科研范式变革的基础。在此基础上，分析目前我国应对科研范式变革存在的问题，并提出相应的政策建议。

关键词　科研范式，科学共同体，复杂性，仿真模拟，数据科学，科研活动组织，学科

CSTR　32128.14.CASbulletin.20230322001

当前，科学技术已成为改变和影响世界经济版图和政治格局的关键变量。各国政府不断调整与完善科技政策，加强重点领域研发投入，从而确保在国际竞争中占据有利地位。尽管全社会对科技的重视程度和投入越来越大，论文与专利越来越多，但颠覆性成果却越来越少[1]，获得重大发现越来越困难，与过去相比需要投入更多的人员、时间、经费，科学发展路径面临挑战[2]。

从当前科技发展态势来看，科技与经济社会发展不断融合渗透发展，多学科交叉融合不断深化，科研范式正在发生着深刻的变革。特别是2007年1月，图灵奖获得者吉姆·格雷在美国国家研究理事会计算机

*通信作者
资助项目：国家自然科学基金专项项目（L2024001、L2224045），中国科学院学部前沿交叉研判项目（XK2022DXA01），中国科学院科技战略咨询研究院新兴前沿方向自主部署项目（E2X0121Z03）
修改稿收到日期：2023年7月4日

科学和电信委员会（CSTB）大会的主题演讲上，基于实验归纳、模型推演、仿真模拟提出了第四范式的观点：数据密集型科学发现[3]，使得科研范式变革逐渐成为全球科技界探讨的热点问题[4]①。我们需要把握科研范式变革的机遇，探索更有效的方式来应对气候变化、重大疾病、自然灾害、经济社会治理体系等全球性重大挑战[5]。这也特别需要科技界、政府乃至社会各界积极谋划和适应科研范式变革来找到应对这些问题的方法。

为了更好地促进科学技术的发展，我们需要理解全球性科研范式变革的内涵和趋势，主动应对变革，从而为建设科技强国和高水平科技自立自强提供有力支撑，特别是希望优化知识生产路径，以促进重大科学突破和全球重大问题解决。为此，本文首先梳理了“范式”概念的逻辑本质，并基于调研分析了新时代科研范式变革基本趋势，探讨了我国在应对科研范式变革时面临的问题，提出知识生产相关的对策建议。

1 “范式”概念的逻辑本质

“范式”（paradigm）这一概念和理论是由美国著名的科学史家、科学哲学家托马斯·库恩（Thomas Kuhn）（以下简称“库恩”）在其《科学革命的结构》（*The Structures of Scientific Revolutions*）[6]中提出并进行了系统性阐述。“范式”的概念出现后，其影响及运用不仅限于科学哲学范围，还不断延伸到其他学科领域。

库恩分别于1943年、1946年和1949年获得哈佛大学学士、硕士和博士学位，专业都是物理，其博士论文的导师是诺贝尔物理学奖获得者约翰·范弗莱克（Johan van Vleck）。1947年的一次机缘巧合对库恩的学术生涯产生了决定性影响。当时，库恩被邀请参加了一期有关17世纪力学起源问题的讲座，以此为契机，他暂时中断了自己的博士论文准备工作，转向深入研究伽利略、牛顿、亚里士多德等人的力学理论。库恩发现，亚里士多德在其著作《物理学》中对运动问题发表了很多荒谬的论点，尤其引起库恩注意的是，有很多后继研究者在相当长的时间里视这些错误观点为正确的。库恩突然意识到，亚里士多德《物理学》的主题与近代物理学完全不同，这是导致以库恩所处时代的学术眼光来审视亚里士多德《物理学》中部分内容完全荒谬的根本原因。亚里士多德的读者一旦将审视的眼光拉回到亚里士多德自己的知识范畴和逻辑框架中，《物理学》中在今后显得“荒谬”甚至是“错误”的内容，就立即拥有内在的逻辑[7]。于是，库恩尝试以亚里士多德本人的思维方式，试图理解作者的意图，于是亚里士多德的理论就变成了可以被理解的[8]。库恩发现，新的力学理论体系和旧的力学理论体系都能在它们存在的特有历史时间解决某些实际问题。但是，新、旧力学理论体系对观察到的相同事实的阐述却完全不一样。亚里士多德力学体系和牛顿体系的关系是这种情况，牛顿体系和爱因斯坦体系的关系也是这种情况。因此，库恩得出的结论是，科学进步是累积的和知识持续积累增长的传统观点，并不能反映出历史研究中展示的真实情况。

科学如何发展？这是库恩在《科学革命的结构》中不断探寻的最核心的问题。事实上，正是“范式”的引入，形成了《科学革命的结构》的基本研究思路：常规科学由一种“范式”来刻画，“范式”确保了科学共同体研究的问题的正当性。如果一切顺利，可以一直达到“范式”所确定的研究方法无法解决的反常地步。然后出现危机并不断延续，直到新的科学成就开始指导新的科学研究，并形成新的“范式”。

① 科学四十人. 科学范式是否真的到了变革的前夕，还是仍在混乱之中？. [2022-10-31]. https://mp.weixin.qq.com/s/CRkNbDqpdMH-GkldVCkUIg.

科学革命的本质是“范式”的转换和更替[9]。

在《科学革命的结构》中，“范式”作为核心概念贯穿全书。库恩[6]指出：“按既定的用法，范式指的是一种公认的模型或模式”“我采用这个术语是想说明，在科学实际活动中某些被公认的范例——包括定律、理论、应用及仪器设备统统在内的范例——为某种科学研究传统的出现提供了模型。”在库恩看来，“范式”是对本体论、认识论和方法论的基本承诺，是科学共同体共同接受的一组假说、理论、准则和方法的总体，这些共识成了科学家的一致信念。也就是说，库恩把科学共同体共同认可的科学成就作为“范式”，这些“范式”告诉科学家该如何做、提出怎样的问题、怎样进行观察和实验。库恩认为，这些科学成就能“空前地吸引一批坚定的支持者”和“并足够无限制地为新的实践者留下需要解决的各种问题”[6]。

但是，《科学革命的结构》中的“范式”并不是一个精确的概念，具有灵活性、层次性和多样性，“范式”转换在不同层次的重要性也不尽相同。因此，本研究与库恩“范式”概念的逻辑起点是一致的，希望能寻找有效②的知识生产方式以推动科学突破、解决当前全球面临的重大问题和挑战。这样“范式”变革就与知识生产方式（如国家自然科学基金资助）得到有效统一。在寻找这种有效的知识生产方式时，可从2个出发点判断：① 基于科学共同体而言——某一特定学科或者跨学科的知识生产方式，这种是全球性的，具有一定的普遍性；② 从社会的视角对科学活动的相关组织方式进行考察，比如选题与社会需求、资源分配等，这往往与国家对科学的管理模式密切相关。

2 新时代具体学科科研范式变革的主要表现形式

自近代科学诞生以来，知识被不断创造、发展，并不断形成系统化的理论和方法，从而成为具有特定范式的某一学科。学科随着知识增长、更替和分化不断发展变化，形成不同分支领域，进而发展成为知识增长的谱系。为此，本次调研分为2个部分：① 根据国际上相关战略研究的成果，重点分析物理学和生物学的发展趋势，关注学科发展和知识生产方式的变化；② 开展国家自然科学基金科研范式变革专项调研，对国家自然科学基金18个学科的战略科学家进行问卷调查。

2.1 国际相关学科战略研究的成果调研——以物理学和生物学的发展趋势为例

（1）物理学。2005年是国际“世界物理年”。为了纪念“世界物理年”，国际物理学界出版了2部重要的著作——《20世纪物理学》和《21世纪新物理学》。从《21世纪新物理学》[10]中也可发现物理学前沿发展的端倪和趋势，了解知识生产方式相关的一些变化特点。物理学是关于物质和能量的科学。当前物理学变得更加复杂，沿着不同的方向分化。与未来物理学科研范式变革相关的内容可以概括为3个方面：① 新的综合。宇宙是庞大的，最终它又是由极小的东西构成。在大尺度上，宇宙是由相对论下的引力理论描述的，而在小尺度上是由量子物理学描述的。多年来这2种描述相互隔离，但是20世纪后期人们有了新的认识——宇宙是在一次大爆炸中创生的，而量子引力在这里起主要作用。这类研究成果也预示了一种新的综合，科学家不仅对宇宙的微观结构有了更深入的认识，也对宇宙大爆炸及其后续的演化和宇宙中的大尺度结构有了更深的理解。② 简单与复杂。传统上物理学家一直把“简单”作为追求的目标，而现实世界具有复杂性，当前物理学需要把二者协调起来，与各种客体把自己“组织”成自我持续的结构的能力协调起来。在处理一些无法进行解析的数学问题时，比如非

② 这里的有效性是指通过结果来进行判断。

线性系统问题，利用计算机模型进行模拟提供了另外的甚至有可能是全新的理解高度。③ 精巧的实验技术。实验物理学根植于精巧的技术之中，新的物理学发现常常由技术突破和仪器设备革新而得到。

（2）生物学。2008年9月—2009年7月，美国科学院研究理事会应美国国立卫生研究院（NIH）、美国能源部（DOE）、美国国家科学基金会（NSF）要求，专门成立了“二十一世纪新生物学委员会”，经过广泛调研和充分研讨，形成了《二十一世纪新生物学》[11]。在《二十一世纪新生物学》中，与未来生物学知识生产方式变化相关的内容可以概括为3个方面：① 知识整合。新生物学的本质是生物学各学科之间的再整合，以及生物学与物理学、计算科学、数学和工程学等多个学科的整合。这些从各个学科整合而来的知识促进了人们对生物系统的更加深入的认知和理解。② 超越还原论。传统的研究手段一般以还原论出发，可有效指导研究人员揭示生命体中最基础的分子、细胞、生理学和生态过程。基于还原论的生物学研究方式仍将一直持续下去。但是，生物学家已经开始努力研究在单一层次的生物组织中各种组分之间的相互作用，以及同时对多个组分进行研究，并将这些知识进行融合。这种超越还原论的研究手段一定程度上加强了研究人员对这些成分如何在一个生命系统中协同工作的理解。③ 设立大目标，让问题推动科学进步。对于具有跨学科、系统水平、计算需求高的项目，传统的资助渠道和体制结构已经不太适合。需要设立具有挑战性的大目标，并协调现有学术、公共和私营机构的有关资源，努力使得项目能在大多数领域产生最大回报。

2.2 国家自然科学基金科研范式变革专项调研

本研究开展专项调研的涉及科学家共57位，主要来源于国家自然科学基金“十四五”发展规划涉及18个学科③的战略规划负责人，以及国家自然科学基金委员会各科学部推荐的具有战略视野的科学家。本次专项调研试图了解各学科领域科学家对新时代科研范式变革的主要表现形式、科研范式变革对科研的影响，以及如何应对这3个方面问题的理解和认识。调研发放问卷57份，回收有效问卷31份，回收率为54.4%，有效问卷填写者涉及16个学科，学科覆盖率达到88.9%。在使用问卷调查法的同时，还对部分科学家进行了访谈。

为了更为全面地考察战略科学家对科研范式变革的理解，笔者团队对问卷调研结果进行了词云分析（图1）。可以看出，战略科学家关注度比较高的关键词主要包括：学科、基础、组织、数据、问题、复杂、系统、领域、交叉融合、模式、需求、社会、机制、协同、整体论等。在此基础上，笔者团队还分析了关键词之间的结构关系（图2），其中大数据、问题、方向、社会、复杂、组织等居于相对较为核心的位置。

3 新时代科研范式变革的主要趋势

从具体调研内容来看，不同的学科有其特有的研



图1 受访科学家对于科研范式变革理解的词云图

Figure 1 Word cloud of interviewed scientists’ understanding of scientific research paradigm transformation

③ 具体的18个学科为：数学、物理学、力学、天文学、化学、生物学、纳米科学、地球科学、资源与环境、农业科学、能源科学、材料科学、海洋科学、空间科学、信息科学、工程科学、医学、经济与管理科学。

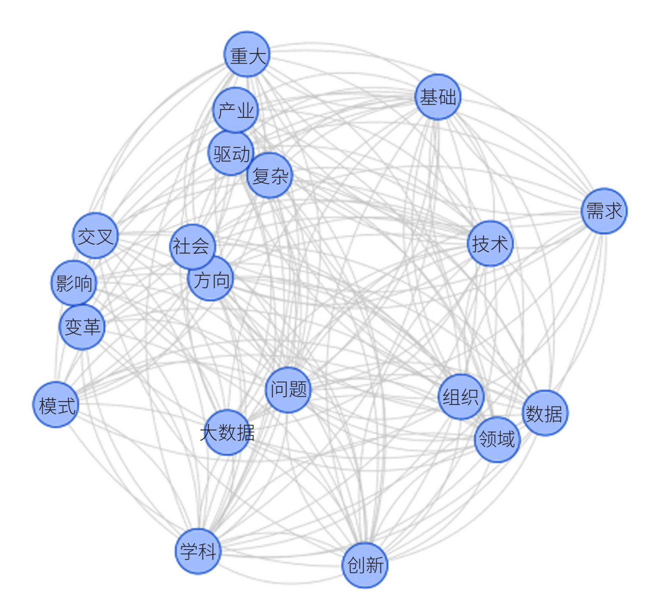


图2　受访科学家对于科研范式变革理解的主要关键词之间的结构关系

Figure 2　Structural relationship between main keywords of interviewed scientists' understanding of paradigm change in scientific research

究对象、研究方法、理论体系，因而科研范式变革的主要表现形式并不完全一致。尽管如此，调研结果也呈现出一些共性的内容，集中体现在科研范式变革的驱动力、研究方法及科研活动的组织等方面。

3.1 解决系统性复杂问题成为新时代科研范式变革主要驱动力

解决系统性复杂问题成为当前科学发展的主要目标，这导致了原有学科内容相应的研究内容、方法和范畴等方面逐渐发生改变，形成科学研究的多层次、多尺度、动态的基本特征，有力地驱动了新时代科研范式的变革。这些系统性复杂问题往往具有3个特点。

（1）强调整体的性质。整体由部分组成，但整体的性质并不是各部分性质简单相加，科学研究中每一个层次都有新的、有效的、普遍的规律，这些规律往往不能用还原论的方法中从更基本层次的规律推导出来。还原论一直并且仍将是科学研究活动中获取有用信息的关键。Gallagher和Appenzeller[12]指出，对越来越少的东西了解得越来越多、不断分化的子学科等对信息流动和沟通可能会造成了一定程度的障碍。

（2）复杂性。在考察部分与整体的关系时，不免产生了复杂系统的作用（关联）、反馈、相变等特质。以气候问题和临床医学中的慢性复杂性疾病为例。①气候问题。气候问题一般由太阳辐射反馈所主导。这些反馈可能会受到系统的非线性和未来变化模式的影响，但会有多大影响并不确定，也很难预测。气候问题，可能永远都是复杂的：在混沌中存在确定性，在理解中存在不可预测性[13]。②慢性复杂性疾病。当前心脑血管类疾病、代谢性疾病、肿瘤、神经精神类疾病等慢性复杂性疾病已成为对我国人口健康威胁最大的疾病。这些疾病的发病涉及众多致病因素，大多发病机理至今仍不清晰。这无疑为慢性疾病发病的诊断与治疗，以及新药研发策略带来了重大挑战。有科学家在此次笔者团队组织的调研中指出，“回看人类对慢性复杂性疾病的认识历程，人类针对重大疾病的研究历经了从宏观疾病表型到微观分子分型的历史变迁。一直以来，对复杂疾病发病机制的研究主要停留于局部组织病灶本身，很大程度上忽略了机体作为一个整体的系统改变，以及当前的生态环境变迁、患者生活习惯改变、社会压力陡增等因素互作对机体产生的综合性的影响。近年来，对慢性复杂性疾病的认识从局部病灶向机体整体拓展的趋势初见端倪。人们逐步认识到，慢性复杂性疾病不仅是局部组织器官的异常，往往涉及机体各个系统的共同参与，与自然环境、社会心理等因素密切相关，是多因素、多环节、多器官交互作用的结果”。

（3）多学科交叉融合。这些问题往往与经济社会发展遇到的重大问题和挑战有关，并不是单一学科的研究能解决的，需要通过学科融合来寻求解决方案。例如，有效应对21世纪的大规模流行病，流行病学、社会科学、社交媒体、疫苗研制、外交、物流和危机管理等涉及的多学科整合必不可少[14]。又如，有科学家在调研访谈中指出，“对于慢病复杂性疾病来说，

需要树立以微生态、免疫、代谢紊乱和神经内分泌失衡应激为核心内容的复杂疾病的‘整体研究观’，建立疾病状态下细胞内部、细胞之间、细胞与器官之间、器官与器官之间的时空调控网络，搭建疾病的病理生理特征与临床表型之间的关联和对应，分析疾病的共性机理与关键因素；集成多维组学、人工智能等前沿技术，发展一批新技术、模型，建立基于共性病理基础的多维整体评价体系，继而构建基于共性病理基础和疾病个性特征的整体诊疗体系”。

3.2 仿真模拟和数据科学可能成为推动科研范式变革的有效突破口

（1）计算机仿真模拟正在学科未来发展中体现出巨大的价值。自近代科学诞生以来，实验归纳和模型推演成为科学研究的主要方法。随着计算机的发展，仿真技术开始发展起来，早期主要在军事领域应用，20世纪80年代，伴随着计算机技术的快速发展，仿真技术进入了全新的计算机仿真技术时代，计算机仿真技术开始大规模地应用于仿真训练、仪器仪表开发、虚拟制造、电子产品设计等生产生活的多个方面，并日益成为实验归纳和模型推演的必要补充。① 天文学领域应用。21世纪初，一些擅长计算机建模的宇宙学家开始着手在超级计算机上模拟宇宙140亿年的历史。其中IllustrisTNG项目对宇宙中各种作用力的模拟达到了前所未有的精细水平，这使得科学家能够观察星系如何在140亿年的时间跨度内形成、演化、成长和促成新恒星形成的过程。这些宇宙学家建立并已经利用该模型来进一步揭示黑洞对暗物质分布的影响、重元素如何产生和分布，以及磁场起源等问题。② 生物学领域应用。2012年，Karr等[15]在*Cell*上发表文章，首次模拟了生殖支原体（Mycoplasma genitalium）全生命周期并构建了一个全细胞计算机模型，该模型涵盖了生殖支原体的所有分子组及其之间的相互作用。这个全细胞计算机模型含有所有的基因功能解释，并且可在多种数据中进行验证，对正在分裂的支原体细胞中的每一个生物反应步骤进行计算[16]，可以应用于生物学研究的多个方面。③ 地球科学领域应用。计算机仿真模拟近期在地球科学领域也取得了较大的进展。2021年6月，由中国科学院大气物理研究所牵头的国家重大科技基础设施“地球系统数值模拟装置”（以下简称“寰”）在北京怀柔科学城落成启用。“寰”能更为详细地预测地球气候和环境变化，并集成海量模拟数据，产生全球和我国周围详细的“地球数据库”。“寰”旨在加强对地球系统各个圈层间相互作用和演变规律的认识，并为全球气候和环境变化建立科学的预测基础。为此，有科学家在调研中表示，“超级计算和人工智能的发展，计算机处理数据的能力和速度迅猛发展，充分利用高性能计算和科学仿真手段实现对新的实验、归纳和演绎即将成为科研范式变革的有效突破口。”

（2）数据科学展现出巨大的潜力。海量的数据、大幅提升的计算能力、数字经济的发展等都在不断催生数据科学的产生[2]。特别是在人工智能（AI）的推动下，以AlphaFold2为代表的AI for Science（人工智能驱动下的科学）成果不断刷新科学界的认知。为此，有很多的科学家提出，数据科学将会是推动科研范式变革的有效突破口。笔者认为，数据科学驱动下的科研范式变革正在发展之中，需要从两个方面予以重点关注：① 目前，对数据科学的内涵和外延仍缺乏较为严谨的定义和学术界的共识，但一般可以从方法论视角和本体论视角2个方面进行探讨。从方法论视角看，数据科学驱动的科研范式也就是吉姆·格雷提出的第四范式，通过直接对数据进行分析，发现以往的科学研究方法未曾发现的新模式、新知识甚至是新规律[17]。从本体论视角看数据科学，数据就是自然世界的符号化反应。既然自然世界是客观存在的，同时是具有共性的科学规律的，那么反映自然世界的数据空间同时也可能具有独立于彼此领域的一般性规律[18]。② 数据科学目前刚刚起步，其建立及其作用的

发挥还需要一个漫长的过程。当前还需要在3个方面开展积极的探索④：通过数据平台的建立来解决数据获取、质量、存储、传输、管理及应用场景问题；促进机理与数据的融合来提升算法和模型的有效性；在离散几何、离散拓扑、图论与组合等基础数学中建立数据科学的根基。

3.3 创新科研活动组织模式成为推动科研范式变革的基础

（1）科技创新链条进一步丰富，由传统意义上的从基础研究、应用研究到产品开发的线性模式变为线性模式和反向模式共存。例如，在信息领域中反向模式的科技创新屡见不鲜，不同于以往首先在基础研究创新后再向产品开发传递的正向模式，从特殊到一般的反向创新形式与扩散路径在信息领域屡见不鲜，如软件工程领域。这种反向创新科研过程是指，“企业专门为特定市场开发的创新产品和服务，再以问题为导向通过基础研究的发现推动产品的迭代优化，遵循从特殊到一般的反向科研规律”[19]。有科学家在本次调研中提到，美国谷歌（Google）公司可作为反向创新的典型，她认为，“Google AI 研究团队始终致力于基础研究和系统工程的结合，团队大部分工作是为不同产品更快、更有效地完成任务提供研究支撑，从而催生了在自然语言理解、感知研究、算法和理论、软件系统、AutoML、TPU 等方面基础研究的突破，再通过与不同产品团队的合作将研究成果广泛应用于产品中”。

（2）学科交叉融合、跨部门合作趋势进一步明显，对科研组织模式提出新挑战。当前，团队合作、多学科协同、跨部门合作、上下游贯通、企业及社会组织的介入，将成为新时代科研活动组织方式的主要特征。有科学家在调研中表示，集成电路的发展具有典型意义。“一方面，集成电路融合了物理学、化学、材料学、精密机械和自动化、光学、计算机科学等40多种学科及工程领域的最新成果，具有鲜明的学科交叉特征。另一方面，集成电路的发展也必将推动精密仪器、凝聚态物理、纳米技术等相关学科的发展。”

4 当前我国在应对科研范式变革方面存在的问题

4.1 学科相互隔离、领域碎片化的问题严重

当前我国在学科设置上存在管理刚性和过于细化的问题。各国学科管理的体制机制有所不同。例如，美国的学科专业划分主要侧重于统计、调查和引导，高等院校在开展教学、科研活动时，可以依据自身和社会需求，设置和调整自身学科专业。我国的学科设置是学科发展和科学研究的基本管理手段之一。管理机构一味突出学科专业划分的管理功能，不利于发挥高校和科研院所的积极主动性，不能使其充分适应经济社会发展和科学发展需求。在这种学科管理刚性的背景下，我国的学科过于细化，既不符合事物的本原，又不利于解决实际问题，由此会加剧学术活动内容的割裂，形成“学科壁垒”。

4.2 部门、机构的协同及共享机制有待健全

（1）从选题上以跟踪居多，原创性问题较少，解决应用部门的问题居多，综合性的较少。如何跨越机构和部门利益，提出极具挑战性的科学目标，并建立相应的协调管理机制，让问题推动科学进步，依然存在很大的挑战。

（2）体制机制沟通“壁垒”亟待突破。由于体制的原因，各个部门、机构的分割，造成知识生产和流动的障碍，科研成果的合理分享远远不够充分，对于原创思想的形成极为不利。

（3）科研数据多元化共享生态和机制亟待加强。科研数据的开放共享意义重大，国外也已经形成多样

④ 张平文. 数据科学融通应用数学. [2020-03-07]. https://zhuanlan.zhihu.com/p/111710682.

化的科研数据共享生态。例如，免费共享研究论文的Academia.edu，分享科研成果的ResearchGate，科研实验外包服务平台Science Exchange，数据科学社区Kaggle，众包创新科研平台InnoCentive，全球最大的众包开放创新中介平台IdeaConnection等。但当前我国数据共享还是零星的、各自独立的，管理服务科研数据的能力十分有限，科研数据共享的机制有待进一步探索。

4.3 科研管理有待多元化

探索兼具中央宏观调控和多元化自由研究，建立既有“大科学”硬核心，又有“小科学”软外围组织的体制，是我国建设世界科技强国的必由之路。当前由于我国评价体系、体制和机制等多方面的问题，纯基础理论、科技基础条件保障能力，以及学会期刊建设存在着明显的不足，亟待改善。

（1）如何发展纯基础理论研究依然是一个重要的问题。纯基础理论研究往往来源于学科交叉，通常没有直接的应用价值，一般能为重大使命任务解决方案的产生提供了一种新的研究视角和思想启迪。同时越是前沿原创的问题，研究风险越高，而目前我国的学术激励机制和科研文化对风险持比较保守态度。

（2）专业软件和仪器设备等方面基础能力严重不足。例如，我国使用的高端科研仪器设备和专业软件几乎被国际巨头垄断，一旦国外供应商停止供货或者停止维护服务，那我国面临的不单单是没有国产替代产品的问题，甚至有可能是国内科学研究全面停滞的问题。近年来，美国Mathworks公司开发的Matlab软件在中国部分高校被禁用就表明了问题的严重性。

5 对策建议

科研范式变革涉及整个科学系统的变化。考虑到科研范式变革的复杂性及当前科学发展的现实需求，本文主要围绕知识生产方式的优化，特别是对科学基金管理提出4点对策建议。

（1）改革学科管理模式，探索交叉学科新型管理模式。捋顺政府与高校、科研机构的关系，扩大高校、科研机构自主权，探索建立积极主动适应经济社会发展并符合教育科研自身发展规律的有效机制；强化统筹规划和动态调整，逐步推动学科体系的均衡和协调发展；鼓励创设交叉学科新型的学术组织，探索构建有效的运行机制，有效推进学科交叉。

（2）加强纯基础理论研究。不断建立和完善适应纯基础理论研究的保障、激励和评价制度，加大科研单元的保障性经费支付力度，建立健全稳定的支持自由探索的体制机制，让“板凳甘坐十年冷”的精神有了制度性保障。

（3）加强使命导向研究，从深层次促进学科融通。开展常态化的遴选、迭代面向世界科技前沿和国家重大需求的科学问题；加强多学科协同、多主体参与的使命导向研究，加强顶层设计和统筹协调，寻求多元化的管理模式路径，和与此对应的部门协调机制，以及人、财、物管理体制。

（4）加强科技基础条件保障能力和数据平台建设。建立科技基础条件保障能力专项基金，支持计算软件、高端仪器设备等相关科技基础条件保障能力建设，探索建立相应的评价、管理体系等长效机制；完善数据共享的制度规范建设，打造第三方的平台来对接数据共享的需求。

致谢 感谢中国科学院学部工作局、国家自然科学基金委员会计划与政策局的指导，以及本项目中接受调研与访谈的科学家们。

参考文献

1 Park M, Leahey E, Funk R J. Papers and patents are becoming less disruptive over time. Nature, 2023, 613: 138-144.

2 杜鹏, 沈华, 张凤. 对科学研究的新认识. 中国科学院院刊, 2021, 36(12): 1413-1418.

Du P, Shen H, Zhang F. New understanding on scientific

research. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2021, 36 (12): 1413-1418. (in Chinese)

3 Hey T, Tansley S, Tolle K. The Fourth Paradigm: Data-intensive Scientific Discovery. Redmond: Microsoft Research, 2009.

4 全国前沿交叉研究院院长联席会秘书处. 拥抱变革、谋划变革、适应变革——"科研范式变革"专题研讨会会议综述. 大学与学科, 2021, (3): 123-128.

Secretariat of the Joint Meeting of Directors of National Frontier Cross Research Institute. Embrace change, plan change and adapt to change—Summary of the symposium on "paradigm change in scientific research". Universities and Disciplines, 2021, (3): 123-128. (in Chinese)

5 Li J H, Huang W L. Paradigm shift in science with tackling global challenges. National Science Review, 2019, 6(6): 1091-1093.

6 托马斯·库恩. 科学革命的结构. 金吾仑, 胡新和, 译. 北京: 北京大学出版社, 2003.

Thomas K. The Structures of Scientific Revolutions. Translated by Jin W L, Hu X H. Beijing: Peking University Press, 2003. (in Chinese)

7 Sigurdsson S. The nature of scientific knowledge: An interview with Thomas S. Kuhn// Blum A, Gavroglu K, Joas C, et al. Shifting Paradigms: Thomas S. Kuhn and the History of Science. Berlin: Neopubli GmbH, 2016.

8 托马斯·库恩. 必要的张力:科学的传统和变革论文选. 范岱年, 纪树立, 译. 北京: 北京大学出版社, 2004.

Thomas K. Necessary Tension: Selected Studies in Scientific Tradition and Change. Translated by Fan D N, Ji S L. Beijing: Peking University Press, 2004. (in Chinese)

9 王荣江. 库恩对Paradigm一词的使用、理解及其中文翻译. 自然辩证法通讯, 2018, 40(9): 113-120.

Wang R J. The use and understanding of the term paradigm by Kuhn and its Chinese translation. Journal of Dialectics of Nature, 2018, 40(9): 113-120. (in Chinese)

10 Gordon F. 21世纪新物理学. 秦克诚, 译. 北京: 科学出版社, 2013.

Gordon F. New Physics for the 21st Century. Translated by Qin K C. Beijing: Science Press, 2013. (in Chinese)

11 美国科学院研究理事会编. 二十一世纪新生物学. 王菊芳译. 北京: 科学出版社. 2012.

National Academy of Sciences Research Council. A New Biology for the 21st Century. Translated by Wang J F. Beijing: Science Press, 2012. (in Chinese)

12 Gallagher R, Appenzeller T. Beyond reductionism. Science, 1999, 284: 79.

13 Rind D. Complexity and climate. Science, 1999, 284: 105-107.

14 Bedford J, Farrar J, Ihekweazu C, et al. A new twenty-first century science for effective epidemic response. Nature, 2019, 575: 130-136.

15 Karr J R, Sanghvi J C, Macklin D N, et al. A whole-cell computational model predicts phenotype from genotype. Cell, 2012, 150(2): 389-401.

16 Isalan M. A cell in a computer. Nature, 2012, 488: 40-41.

17 李国杰, 程学旗. 大数据研究:未来科技及经济社会发展的重大战略领域——大数据的研究现状与科学思考. 中国科学院院刊, 2012, 27(6): 647-657.

Li G J, Cheng X Q. Research status and scientific thinking of big data. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2012, 27 (6): 647-657. (in Chinese)

18 程学旗, 梅宏, 赵伟, 等. 数据科学与计算智能:内涵、范式与机遇. 中国科学院院刊, 2020, 35(12): 1470-1481.

Cheng X Q, Mei H, Zhao W, et al. Data science and computing intelligence: Concept, paradigm, and opportunities. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2020, 35(12): 1470-1481. (in Chinese)

19 杜鹏. 加强技术科学是实现高水平科技自立自强的关键. 群言, 2021, (8): 4-7.

Du P. Strengthening technical science is the key to realize self-reliance and self-improvement of high-level science and technology. Popular Tribune, 2021, (8): 4-7. (in Chinese)

Connotation and countermeasures of scientific research paradigm transformation in the new era

DU Peng[1] ZHAO Bingyu[1,2] SUN Li[3] SHA Xiaojing[1] ZHANG Liqian[1] WANG Zidan[4*]

（1 Institutes of Science and Development, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China;

2 School of Public Policy and Management, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3 Bureau of Planning and Policy, National Natural Science Foundation of China, Beijing 100085, China;

4 Institute of Systems Engineering, Academy of Military Sciences, Beijing 100041, China）

Abstract The purpose of this study is to comprehensively explore the main connotation and important impact of scientific research paradigm change from both theoretical and practical perspectives. On the theoretical level, starting with Kuhn and his *The Structures of the Scientific Revolution*, this study explores the logical essence of the concept of “paradigm”. At the practical level, through various forms such as questionnaires and interviews, the three connotations of scientific research paradigm change in the new era have been condensed. Namely, solving systematic and complex problems has become the main driving force for scientific research paradigm change in the new era, simulation and data science may become effective breakthroughs in promoting scientific research paradigm change, and organizational innovation in scientific research activities has become the foundation for promoting scientific research paradigm change. On this basis, it analyzes the current problems in China’s response to the transformation of research paradigms, and proposes the corresponding policy recommendations.

Keywords scientific research paradigm, scientific community, complexity, simulation, data science, organization of scientific research activities, discipline

杜 鹏 中国科学院科技战略咨询研究院研究员。主要研究领域：科技政策、科学技术与社会、学科政策等。E-mail: dupeng@casisd.cn

DU Peng Ph.D. in management, Professor of Institutes of Science and Development, Chinese Academy of Sciences (CAS). His research focuses on science & technology policy, science & technology and society, discipline policy, etc. E-mail: dupeng@casisd.cn

王孜丹 军事科学院系统工程研究院助理研究员。主要研究领域：系统工程及其标准化。E-mail: 339318531@qq.com

WANG Zidan Ph.D. in management, Assistant Professor of Institute of Systems Engineering, Academy of Military Sciences. Her research focuses on systems engineering and standardization. E-mail: 339318531@qq.com

■责任编辑：张帆

*Corresponding author